

perder durante a transmissão, como o cliente saberia que alguns fragmentos se perderam? Como o cliente saberia que o último pacote recebido foi, de fato, o último pacote enviado? Suponha que o cliente quisesse um segundo arquivo. Como ele poderia distinguir o pacote 1 do segundo arquivo de um pacote 1 perdido do primeiro arquivo que repentinamente tivesse encontrado o caminho até o cliente? Em resumo, no mundo real, um simples protocolo de solicitação/resposta sobre uma rede não confiável normalmente é inadequado. No Capítulo 3, estudaremos em detalhes uma variedade de protocolos que superam esses e outros problemas. Por enquanto, basta dizer que às vezes ter um fluxo de bytes confiável e ordenado entre processos é muito conveniente.

1.3.5 RELACIONAMENTO ENTRE SERVIÇOS E PROTOCOLOS

Serviços e protocolos são conceitos diferentes. Essa distinção é tão importante que vamos enfatizá-la mais uma vez. Um *serviço* é um conjunto de primitivas (operações) que uma camada oferece à camada situada acima dela. O serviço define as operações que a camada está preparada para executar em nome de seus usuários, mas não informa absolutamente nada sobre como essas operações são implementadas. Um serviço se relaciona a uma interface entre duas camadas, sendo a camada inferior o fornecedor do serviço e a camada superior, o usuário do serviço.

Ao contrário, o *protocolo* é um conjunto de regras que controla o formato e o significado dos pacotes ou mensagens que são trocadas pelas entidades pares contidas em uma camada. As entidades utilizam protocolos com a finalidade de implementar suas definições de serviço. Elas têm a liberdade de trocar seus protocolos, desde que não alterem o serviço visível para seus usuários. Portanto, o serviço e o protocolo são independentes um do outro. Esse é um conceito fundamental, que qualquer projetista de rede precisa entender bem.

Em outras palavras, os serviços estão relacionados às interfaces entre camadas, como ilustra a Figura 1.16. Por outro lado, os protocolos se relacionam aos pacotes enviados entre entidades pares em máquinas diferentes. É importante não confundir esses dois conceitos.

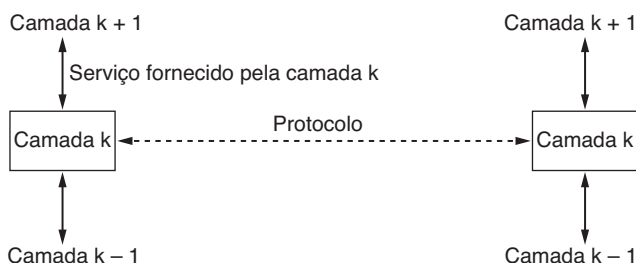


Figura 1.16 | Relacionamento entre um serviço e um protocolo.

Vale a pena fazer uma analogia com as linguagens de programação. Um serviço é como um objeto ou um tipo de dados abstrato em uma linguagem orientada a objetos. Ele define as operações que podem ser executadas sobre um objeto, mas não especifica como essas operações são implementadas. Em contraste, um protocolo se refere à *implementação* do serviço e, conseqüentemente, não é visível ao usuário do serviço.

Muitos protocolos mais antigos não distinguiam entre o serviço e o protocolo. Na prática, uma camada normal poderia ter uma primitiva de serviço `send packet`, com o usuário fornecendo um ponteiro para um pacote totalmente montado. Essa organização significava que todas as mudanças no protocolo ficavam imediatamente visíveis para os usuários. Hoje, a maioria dos projetistas de redes considera tal projeto um sério equívoco.

1.4 MODELOS DE REFERÊNCIA

Depois de discutirmos o conceito de redes em camadas em termos abstratos, vamos ver alguns exemplos. Nas duas seções a seguir, examinaremos duas importantes arquiteturas de rede: os modelos de referência OSI e TCP/IP. Embora os *protocolos* associados ao modelo OSI raramente sejam usados nos dias de hoje, o *modelo* em si é de fato bastante geral e ainda válido, e as características descritas em cada camada ainda são muito importantes. O modelo TCP/IP tem características opostas: o modelo propriamente dito não é muito utilizado, mas os protocolos são bastante utilizados. Por essa razão, examinaremos ambos em detalhes. Além disso, às vezes é possível aprender mais com os erros do que com os acertos.

1.4.1 O MODELO DE REFERÊNCIA OSI

O modelo OSI (exceto o meio físico) é representado na Figura 1.17. Esse modelo se baseia em uma proposta desenvolvida pela ISO (International Standards Organization) como um primeiro passo em direção à padronização internacional dos protocolos usados nas várias camadas (Day e Zimmermann, 1983). Ele foi revisado em 1995 (Day, 1995). O modelo se chama **Modelo de Referência ISO OSI (Open Systems Interconnection)**, pois ele trata da interconexão de sistemas abertos — ou seja, sistemas abertos à comunicação com outros sistemas. Para abreviar, vamos chamá-lo simplesmente de **modelo OSI**.

O modelo OSI tem sete camadas. Veja, a seguir, um resumo dos princípios aplicados para chegar às sete camadas.

1. Uma camada deve ser criada onde houver necessidade de outro grau de abstração.
2. Cada camada deve executar uma função bem definida.

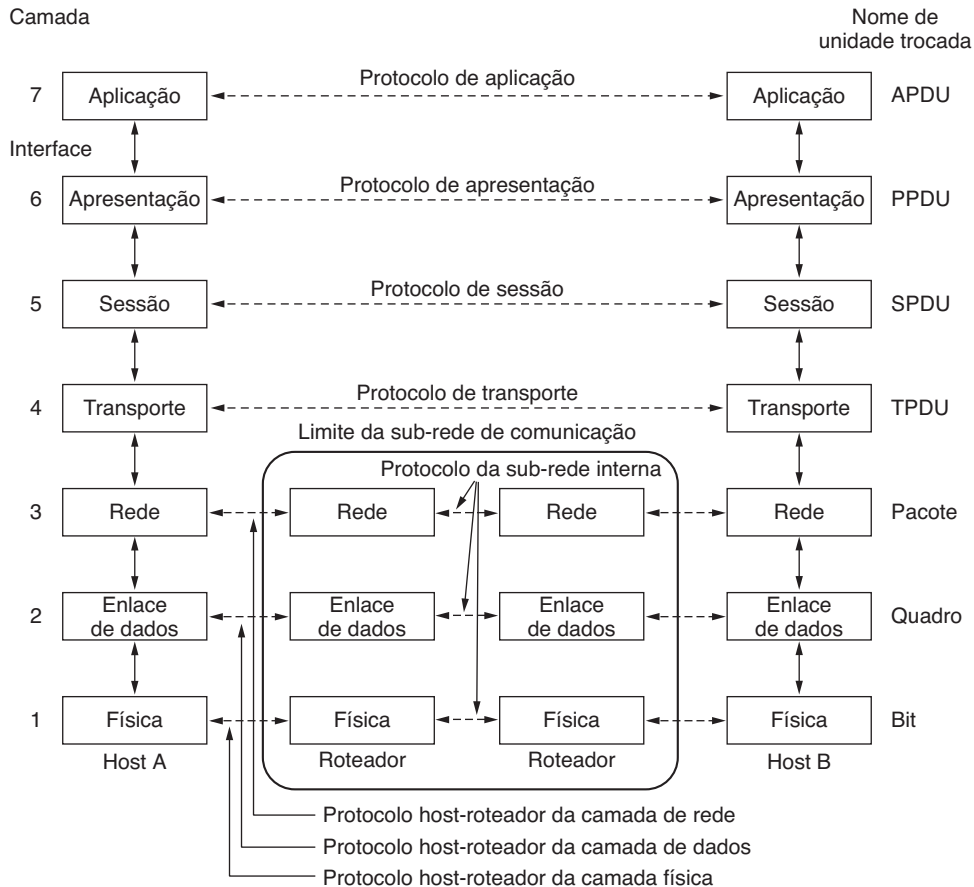


Figura 1.17 | O modelo de referência OSI.

3. A função de cada camada deve ser escolhida tendo em vista a definição de protocolos padronizados internacionalmente.
4. Os limites de camadas devem ser escolhidos para minimizar o fluxo de informações pelas interfaces.
5. O número de camadas deve ser grande o bastante para que funções distintas não precisem ser desnecessariamente colocadas na mesma camada e pequeno o suficiente para que a arquitetura não se torne difícil de controlar.

Em seguida, discutiremos cada uma das camadas do modelo, começando pela camada inferior. Observe que o modelo OSI propriamente dito não é uma arquitetura de rede, pois não especifica os serviços e protocolos exatos que devem ser usados em cada camada. Ele apenas informa o que cada camada deve fazer. No entanto, a ISO também produziu padrões para todas as camadas, embora esses padrões não façam parte do próprio modelo de referência. Cada um foi publicado como um padrão internacional distinto. O *modelo* (em parte) é bastante utilizado, embora os protocolos associados há muito tempo tenham sido deixados de lado.

A CAMADA FÍSICA

A **camada física** trata da transmissão de bits normais por um canal de comunicação. O projeto da rede deve garantir que, quando um lado enviar um bit 1, o outro lado o receberá como um bit 1, não como um bit 0. As questões mais comuns aqui são quais os sinais elétricos que devem ser usados para representar um bit 1 e um bit 0, a quantidade de nanossegundos que um bit deve durar, se a transmissão pode ou não ser realizada simultaneamente nos dois sentidos, a forma como a conexão inicial será estabelecida e de que maneira ela será encerrada quando ambos os lados tiverem terminado, e ainda quantos pinos o conector de rede terá e qual será a finalidade de cada pino. Nessa situação, as questões de projeto lidam em grande parte com interfaces mecânicas, elétricas e de sincronização, e com o meio físico de transmissão que se situa abaixo da camada física.

A CAMADA DE ENLACE DE DADOS

A principal tarefa da **camada de enlace de dados** é transformar um canal de transmissão normal em uma linha que pareça livre de erros de transmissão. Para fazer isso, a camada de enlace mascara os erros reais, de modo

que a camada de rede não os veja. Isso é executado fazendo com que o transmissor divida os dados de entrada em **quadros de dados** (que, em geral, têm algumas centenas ou alguns milhares de bytes) e transmita os quadros sequencialmente. Se o serviço for confiável, o receptor confirmará a recepção correta de cada quadro, enviando de volta um **quadro de confirmação**.

Outra questão que surge na camada de enlace de dados (e na maioria das camadas mais altas) é como impedir que um transmissor rápido envie uma quantidade excessiva de dados a um receptor lento. Normalmente, é preciso que haja algum mecanismo que regule o tráfego para informar ao transmissor quando o receptor pode aceitar mais dados.

As redes de broadcast têm uma questão adicional a ser resolvida na camada de enlace de dados: como controlar o acesso ao canal compartilhado. Uma subcamada especial da camada de enlace de dados, a subcamada de **controle de acesso ao meio**, trata desse problema.

A CAMADA DE REDE

A **camada de rede** controla a operação da sub-rede. Uma questão fundamental de projeto é determinar a maneira como os pacotes são roteados da origem até o destino. As rotas podem se basear em tabelas estáticas, ‘amaradas’ à rede e raramente alteradas, ou frequentemente podem ser atualizadas de forma automática, para evitar componentes defeituosos. Elas também podem ser determinadas no início de cada conversação; por exemplo, uma sessão de terminal, como um login em uma máquina remota. Por fim, elas podem ser altamente dinâmicas, sendo determinadas para cada pacote, refletindo a carga atual da rede.

Se houver muitos pacotes na sub-rede ao mesmo tempo, eles dividirão o mesmo caminho, formando gargalos. A responsabilidade pelo controle desse congestionamento também pertence à camada de rede, em conjunto com as camadas mais altas, que adaptam a carga imposta sobre a rede. De modo mais geral, a qualidade do serviço fornecido (atraso, tempo em trânsito, instabilidade etc.) também é uma questão da camada de rede.

Quando um pacote precisa trafegar de uma rede para outra até chegar a seu destino, podem surgir muitos problemas. O endereçamento utilizado pela segunda rede pode ser diferente do que é usado pela primeira. Talvez a segunda rede não aceite o pacote por ele ser muito grande. Os protocolos podem ser diferentes e assim por diante. Cabe à camada de rede superar todos esses problemas, a fim de permitir que redes heterogêneas sejam interconectadas.

Nas redes de broadcast, o problema de roteamento é simples e, assim, a camada de rede geralmente é estreita, ou mesmo inexistente.

A CAMADA DE TRANSPORTE

A função básica da camada de transporte é aceitar dados da camada acima dela, dividi-los em unidades menores, se for preciso, repassar essas unidades à camada de rede e garantir que todos os fragmentos chegarão corretamente à outra extremidade. Além do mais, tudo isso deve ser feito com eficiência e de forma que as camadas superiores fiquem isoladas das inevitáveis mudanças na tecnologia de hardware com o passar do tempo.

A camada de transporte também determina que tipo de serviço deve ser fornecido à camada de sessão e, por fim, aos usuários da rede. O tipo mais popular de conexão de transporte é um canal ponto a ponto livre de erros que entrega mensagens ou bytes na ordem em que eles foram enviados. No entanto, outros possíveis tipos de serviço de transporte são as mensagens isoladas sem nenhuma garantia relativa à ordem de entrega e à propagação de mensagens para múltiplos destinos. O tipo de serviço é determinado quando a conexão é estabelecida. (Observe que é impossível conseguir um canal livre de erros; o que as pessoas realmente entendem por essa expressão é que a taxa de erros é baixa o suficiente para ser ignorada na prática.)

A camada de transporte é uma verdadeira camada de ponta a ponta, que liga a origem ao destino. Em outras palavras, um programa na máquina de origem mantém uma conversação com um programa semelhante instalado na máquina de destino, utilizando os cabeçalhos de mensagens e as mensagens de controle. Nas camadas inferiores, os protocolos são trocados entre cada uma das máquinas e seus vizinhos imediatos, e não entre as máquinas de origem e de destino, que podem estar separadas por muitos roteadores. A diferença entre as camadas 1 a 3, que são encadeadas, e as camadas 4 a 7, que são camadas de ponta a ponta, é ilustrada na Figura 1.17.

A CAMADA DE SESSÃO

A camada de sessão permite que os usuários em diferentes máquinas estabeleçam **sessões de comunicação** entre eles. Uma sessão oferece diversos serviços, inclusive o **controle de diálogo** (mantendo o controle de quem deve transmitir em cada momento), o **gerenciamento de tokens** (impedindo que duas partes tentem executar a mesma operação crítica ao mesmo tempo) e a **sincronização** (realizando a verificação periódica de longas transmissões para permitir que elas continuem a partir do ponto em que estavam ao ocorrer uma falha e a subsequente recuperação).

A CAMADA DE APRESENTAÇÃO

Diferente das camadas mais baixas, que se preocupam principalmente com a movimentação de bits, a **camada de apresentação** está relacionada à sintaxe e à semântica das informações transmitidas. Para tornar possível a comunicação entre computadores com diferentes representações

internas dos dados, as estruturas de dados a serem trocadas podem ser definidas de maneira abstrata, com uma codificação padrão que será usada durante a conexão. A camada de apresentação gerencia essas estruturas de dados abstratas e permite a definição e o intercâmbio de estruturas de dados de nível mais alto (por exemplo, registros bancários).

A CAMADA DE APLICAÇÃO

A camada de aplicação contém uma série de protocolos comumente necessários para os usuários. Um protocolo de aplicação amplamente utilizado é o **HTTP (HyperText Transfer Protocol)**, que constitui a base da World Wide Web. Quando um navegador deseja uma página Web, ele envia o nome da página desejada ao servidor que hospeda a página, utilizando o HTTP. O servidor, então, transmite a página ao navegador. Outros protocolos de aplicação são usados para transferências de arquivos, correio eletrônico e transmissão de notícias pela rede.

1.4.2 O MODELO DE REFERÊNCIA TCP/IP

Vamos deixar de lado o modelo de referência OSI e passar ao modelo de referência usado na 'avó' de todas as redes de computadores a longa distância, a ARPANET, e sua sucessora, a Internet mundial. Embora tenhamos deixado para depois a apresentação da história da ARPANET, agora será de grande utilidade entender alguns de seus principais aspectos. A ARPANET era uma rede de pesquisa patrocinada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD). Pouco a pouco, centenas de universidades e repartições públicas foram conectadas, usando linhas telefônicas dedicadas. Mais tarde, quando foram criadas as redes de rádio e satélite, os protocolos existentes começaram a ter problemas de interligação com elas, o que forçou a criação de uma nova arquitetura de referência. Desse modo, quase desde o início, a capacidade para conectar várias redes de maneira uniforme foi um dos principais objetivos do projeto. Essa arquitetura posteriormente ficou conhecida como **modelo de referência TCP/IP**, graças a seus dois principais protocolos. Esse modelo foi definido pela primeira vez em Cerf e Kahn (1974), depois melhorado e definido como

um padrão na comunidade da Internet (Braden, 1989). A filosofia de projeto na qual se baseia o modelo é discutida em Clark (1988).

Diante da preocupação do Departamento de Defesa dos Estados Unidos de que seus preciosos hosts, roteadores e gateways de interconexão de redes fossem destruídos de uma hora para outra por um ataque da então União Soviética, outro objetivo principal foi que a rede fosse ser capaz de sobreviver à perda do hardware de sub-redes, sem que as conversações existentes fossem interrompidas. Em outras palavras, o Departamento de Defesa queria que as conexões permanecessem intactas enquanto as máquinas de origem e de destino estivessem funcionando, mesmo que algumas máquinas ou linhas de transmissão intermediárias deixassem de operar repentinamente. Além disso, como eram visadas aplicações com requisitos divergentes, desde a transferência de arquivos e a transmissão de dados de voz em tempo real, era necessária uma arquitetura flexível.

A CAMADA DE ENLACE

Todas essas necessidades levaram à escolha de uma rede de comutação de pacotes baseada em uma camada de interligação de redes com serviço não orientado a conexões, passando por diferentes topologias de redes. A **camada de enlace**, a mais baixa no modelo, descreve o que os enlaces como linhas seriais e a Ethernet clássica precisam fazer para cumprir os requisitos dessa camada de interconexão com serviço não orientado a conexões. Ela não é uma camada propriamente dita, no sentido normal do termo, mas uma interface entre os hosts e os enlaces de transmissão. O material inicial sobre o modelo TCP/IP tem pouco a dizer sobre ela.

A CAMADA INTERNET (CAMADA DE REDE)

A **camada internet** integra toda a arquitetura, mantendo-a unida. Ela aparece na Figura 1.18 como uma correspondência aproximada com o modelo de rede OSI. Sua tarefa é permitir que os hosts injetem pacotes em qualquer rede e garantir que eles trafegarão independentemente até o destino (talvez em uma rede diferente). Eles podem che-

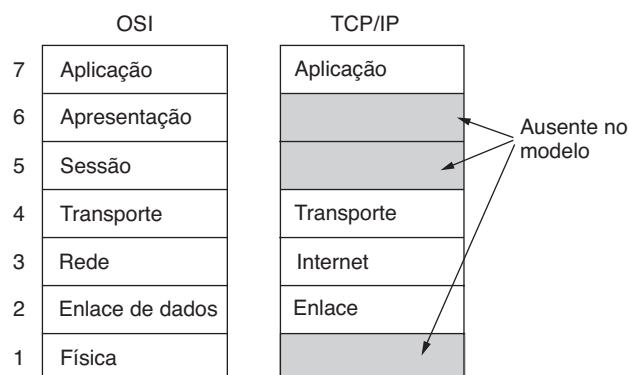


Figura 1.18 | O modelo de referência TCP/IP.

gar até mesmo em uma ordem diferente daquela em que foram enviados, obrigando as camadas superiores a reorganizá-los, caso a entrega em ordem seja desejável. Observe que o termo internet (rede interligada) é usado aqui em um sentido genérico, embora essa camada esteja presente na Internet.

A analogia usada nesse caso diz respeito ao sistema de correio (convencional). Uma pessoa pode deixar uma sequência de cartas internacionais em uma caixa de correio em um país e, com um pouco de sorte, a maioria delas será entregue no endereço correto no país de destino. Provavelmente, as cartas atravessarão um ou mais centros de triagem de correio internacionais ao longo do caminho, mas isso é transparente para os usuários. Além disso, o fato de cada país (ou seja, cada rede) ter seus próprios selos, tamanhos de envelope preferidos e regras de entrega fica oculto dos usuários.

A camada internet define um formato de pacote oficial e um protocolo chamado **IP (Internet Protocol)**, mais um protocolo que o acompanha, chamado **ICMP (Internet Control Message Protocol)**. A tarefa da camada internet é entregar pacotes IP onde eles são necessários. O roteamento de pacotes claramente é uma questão de grande importância nessa camada, assim como o congestionamento (embora o IP não seja eficaz para evitar o congestionamento).

A CAMADA DE TRANSPORTE

No modelo TCP/IP, a camada localizada acima da camada internet agora é chamada **camada de transporte**. A finalidade dessa camada é permitir que as entidades pares dos hosts de origem e de destino mantenham uma conversação, exatamente como acontece na camada de transporte OSI. Dois protocolos de ponta a ponta foram definidos aqui. O primeiro deles, o protocolo de controle de transmissão, ou **TCP (Transmission Control Protocol)**, é um protocolo orientado a conexões confiável que permite a entrega sem erros de um fluxo de bytes originário de uma determinada máquina em qualquer computador da internet. Esse protocolo fragmenta o fluxo de bytes de

entrada em mensagens discretas e passa cada uma delas para a camada internet. No destino, o processo TCP receptor volta a montar as mensagens recebidas no fluxo de saída. O TCP também cuida do controle de fluxo, impedindo que um transmissor rápido sobrecarregue um receptor lento com um volume de mensagens maior do que ele pode manipular.

O segundo protocolo nessa camada, o protocolo de datagrama do usuário, ou **UDP (User Datagram Protocol)**, é um protocolo sem conexões, não confiável, para aplicações que não desejam a sequência ou o controle de fluxo do TCP, e que desejam oferecer seu próprio controle. Ele é muito usado para consultas isoladas, com solicitação e resposta, tipo cliente-servidor, e aplicações em que a entrega imediata é mais importante do que a entrega precisa, como na transmissão de voz ou vídeo. A relação entre IP, TCP e UDP é ilustrada na Figura 1.19. Desde que o modelo foi desenvolvido, o IP tem sido implementado em muitas outras redes.

A CAMADA DE APLICAÇÃO

O modelo TCP/IP não tem as camadas de sessão ou de apresentação. Não foi percebida qualquer necessidade para elas. Ao invés disso, as aplicações simplesmente incluem quaisquer funções de sessão e apresentação que forem necessárias. A experiência com o modelo OSI demonstrou que essa visão está correta: elas são pouco usadas na maioria das aplicações.

Acima da camada de transporte, encontramos a **camada de aplicação**. Ela contém todos os protocolos de nível mais alto. Dentre eles estão o protocolo de terminal virtual (TELNET), o protocolo de transferência de arquivos (FTP) e o protocolo de correio eletrônico (SMTP). Muitos outros protocolos foram incluídos no decorrer dos anos. Alguns dos mais importantes que estudaremos, mostrados na Figura 1.19, incluem o DNS (Domain Name Service), que mapeia os nomes de hosts para seus respectivos endereços da camada de rede (Internet), o HTTP, protocolo usado para buscar páginas na World Wide Web, e o RTP, protocolo para entregar mídia em tempo real, como voz ou vídeo.

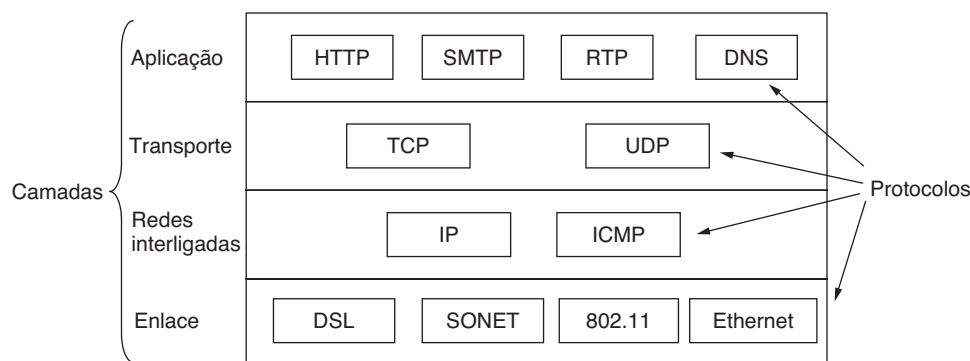


Figura 1.19 | O modelo TCP/IP com alguns protocolos que estudaremos.

1.4.3 O MODELO DE DADOS USADO NESTE LIVRO

Conforme dissemos, o ponto forte do modelo de referência OSI é o *modelo* propriamente dito (menos as camadas de apresentação e sessão), que provou ser excepcionalmente útil para a discussão de redes de computadores. Por outro lado, o ponto forte do modelo de referência TCP/IP são os *protocolos*, que têm sido bastante utilizados há muitos anos. Como os cientistas da computação gostam de ter seu bolo e comê-lo também, usaremos o modelo híbrido da Figura 1.20 como base para este livro.

Esse modelo tem cinco camadas, partindo da camada física e subindo pelas camadas de enlace, rede e transporte, até chegar à camada de aplicação. A camada física especifica como transmitir os bits por diferentes tipos de mídia como sinais elétricos (ou outro semelhante). A camada de enlace trata de como enviar mensagens de tamanho definido entre computadores diretamente conectados, com níveis de confiabilidade especificados. Ethernet e 802.11 são exemplos de padrões da camada de enlace.

A camada de rede cuida de como combinar vários enlaces nas redes, e redes de redes em internets, de modo a enviar pacotes entre computadores distantes. Isso inclui a tarefa de localizar o caminho pelo qual os pacotes serão enviados. O IP é o principal exemplo de protocolo que estudaremos para essa camada. A camada de transporte fortalece as garantias de entrega da camada de rede, normalmente com maior confiabilidade, e oferece abstrações de entrega, como um fluxo de bytes confiável, que correspondem às necessidades das diferentes aplicações. O TCP é um exemplo importante de protocolo da camada de transporte.

Por fim, a camada de aplicação contém programas que utilizam a rede. Muitas aplicações de rede, mas não todas, possuem interfaces com o usuário, como um navegador Web. Contudo, nossa preocupação é com a parte do programa que usa a rede. No caso do navegador Web, esse é o protocolo HTTP. Também existem programas de suporte importantes na camada de aplicação, como o DNS, que são usados por muitas aplicações.

Nossa sequência de capítulos é baseada nesse modelo. Dessa forma, mantemos o valor do modelo OSI para entender as arquiteturas de rede, mas nos concentramos principalmente nos protocolos que são importantes na prática, do TCP/IP e protocolos relacionados, aos mais novos como os padrões 802.11, SONET e Bluetooth.

5	Aplicação
4	Transporte
3	Rede
2	Enlace
1	Física

Figura 1.20 | O modelo de referência usado neste livro.

1.4.4 UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS DE REFERÊNCIA OSI E TCP/IP

Os modelos de referência OSI e TCP/IP têm muito em comum. Ambos se baseiam no conceito de uma pilha de protocolos independentes. Além disso, as camadas têm praticamente as mesmas funcionalidades. Por exemplo, em ambos os modelos estão presentes as camadas que englobam até a camada de transporte para oferecer um serviço de transporte de ponta a ponta, independente da rede, a processos que desejam se comunicar. Essas camadas formam o provedor de transporte. Mais uma vez, em ambos os modelos, as camadas acima da camada de transporte dizem respeito às aplicações que fazem uso do serviço de transporte.

Apesar dessas semelhanças fundamentais, os dois modelos também têm muitas diferenças. Nesta seção, vamos nos deter nas principais diferenças existentes entre os dois modelos de referência. É importante notar que estamos comparando os *modelos de referência*, não as *pilhas de protocolos* correspondentes. Os protocolos propriamente ditos serão discutidos em seguida. Para examinar as semelhanças e as diferenças entre o TCP/IP e o OSI, consulte Piscitello e Chapin (1993).

O modelo OSI tem três conceitos fundamentais:

1. Serviços.
2. Interfaces.
3. Protocolos.

Provavelmente a maior contribuição do modelo OSI seja tornar explícita a distinção entre esses três conceitos. Cada camada executa alguns *serviços* para a camada acima dela. A definição do serviço informa o que a camada faz, e não a forma como as entidades acima dela a acessam ou como a camada funciona. Essa definição estabelece a semântica da camada.

A *interface* de uma camada informa como os processos acima dela podem acessá-la. Também especifica quais são os parâmetros e os resultados a serem esperados. Ela também não revela o funcionamento interno da camada.

Finalmente, os *protocolos* utilizados em uma camada são de responsabilidade dessa camada. Esta pode usar os protocolos que quiser, desde que realize o trabalho (ou seja, forneça os serviços oferecidos). Ela também pode alterar esses protocolos sem influenciar o software das camadas superiores.

Essas ideias se adaptam perfeitamente aos novos conceitos da programação orientada a objetos. Um objeto, assim como uma camada, tem um conjunto de métodos (operações) que os processos externos ao objeto podem invocar. A semântica desses métodos define o conjunto de serviços que o objeto oferece. Os parâmetros dos métodos e os resultados deles formam a interface do objeto. O código interno do objeto é seu protocolo, que não é visível nem interessa aos elementos fora do objeto.

Originalmente, o modelo TCP/IP não distinguia com clareza a diferença entre serviços, interface e protocolo, embora as pessoas tenham tentado deixá-lo mais parecido com o modelo OSI. Por exemplo, os únicos serviços reais oferecidos pela camada de rede interligada (Internet) são *send ip packet* (enviar pacote IP) e *receive ip packet* (receber pacote IP). Por conseguinte, os protocolos no modelo OSI são mais bem encapsulados que os do modelo TCP/IP e podem ser alterados com relativa facilidade, conforme a tecnologia muda. Um dos principais objetivos das diversas camadas de protocolos é permitir a realização transparente dessas alterações.

O modelo de referência OSI foi concebido *antes* de os protocolos correspondentes terem sido criados. Isso significa que o modelo não teve influência de um determinado conjunto de protocolos, o que o deixou bastante genérico. A desvantagem dessa ordenação foi que os projetistas não tinham muita experiência no assunto nem muita noção sobre a funcionalidade que deveria ser incluída em cada camada.

Por exemplo, a camada de enlace de dados lidava originalmente com redes ponto a ponto. Quando surgiram as redes de broadcast, foi preciso criar uma nova subcamada no modelo. Além disso, quando as pessoas começaram a criar redes reais com base no modelo OSI e nos protocolos existentes, descobriu-se que essas redes não eram compatíveis com as especificações de serviço exigidas (que maravilha), de modo que foi necessário enxertar no modelo subcamadas de convergência que permitissem atenuar as diferenças. Por fim, como o comitê acreditava que cada país teria uma rede controlada pelo governo e baseada nos protocolos OSI, não se preocupou com as conexões entre as redes. Para encurtar a história: na prática, as coisas aconteceram de maneira muito diferente da teoria.

Com o TCP/IP, ocorreu exatamente o contrário: como os protocolos vieram primeiro, o modelo realmente foi criado como uma descrição dos protocolos existentes. Não houve problemas para os protocolos serem adaptados ao modelo. Eles se encaixaram perfeitamente. O único problema foi o fato de o *modelo* não se adaptar a outras pilhas de protocolos. Consequentemente, ele não tinha muita utilidade para descrever outras redes que não faziam uso do protocolo TCP/IP.

Deixando a filosofia de lado e entrando em questões mais específicas, uma diferença óbvia entre os dois modelos está no número de camadas: o modelo OSI tem sete camadas e o TCP/IP tem quatro. Ambos têm as camadas de rede, transporte e aplicação, mas as outras são diferentes.

Outra diferença está na área da comunicação não orientada a conexões *versus* comunicação orientada a conexões. Na camada de rede, o modelo OSI é compatível com a comunicação não orientada a conexões e com a comunicação orientada a conexões; no entanto, na cama-

da de transporte, o modelo aceita apenas a comunicação orientada a conexões, onde de fato ela é mais importante (pois o serviço de transporte é visível para os usuários). O modelo TCP/IP só tem um modo de operação na camada de rede (não orientado a conexões), mas aceita ambos os modos na camada de transporte, oferecendo aos usuários a possibilidade de escolha. Essa escolha é especialmente importante para os protocolos simples de solicitação/resposta.

1.4.5 UMA CRÍTICA AOS PROTOCOLOS E AO MODELO OSI

Nem o modelo OSI e seus respectivos protocolos nem o modelo TCP/IP e seus respectivos protocolos são perfeitos. Os dois podem ser e têm sido alvo de uma série de críticas. Nesta seção e na próxima, examinaremos algumas delas. Começaremos pelo modelo OSI e, em seguida, examinaremos o TCP/IP.

Na época em que a segunda edição americana deste livro foi publicada (1989), muitos especialistas tinham a impressão de que os protocolos e o modelo OSI controlariam o mundo e atropelariam tudo o que se pusesse em seu caminho. Isso não aconteceu. Por quê? Vale a pena fazer uma revisão de algumas razões, que podem ser resumidas da seguinte maneira:

1. Momento ruim.
2. Tecnologia ruim.
3. Implementações ruins.
4. Política ruim.

MOMENTO RUIM

Vamos começar pelo problema mais importante: momento ruim. O momento em que um padrão é estabelecido é de fundamental importância para seu sucesso. David Clark, do MIT, tem uma teoria sobre os padrões, que ele chama *o apocalipse dos dois elefantes*, ilustrada na Figura 1.21.

Essa figura mostra o volume de atividades relacionadas a um novo assunto. Quando o assunto é descoberto, há uma grande atividade de pesquisa, em forma de discussões, artigos e reuniões. Após algum tempo dessa atividade inicial, as empresas descobrem o assunto e tem início a onda de bilhões de dólares em investimentos.

É essencial que os padrões sejam desenvolvidos entre os dois ‘elefantes’. Se eles forem desenvolvidos muito cedo, antes de a pesquisa ser concluída, o assunto poderá não estar devidamente compreendido; o resultado é um padrão ruim. Se eles forem desenvolvidos muito tarde, muitas empresas talvez já tenham feito investimentos maciços para descobrir maneiras diferentes de tirar proveito dessa nova tecnologia e, portanto, os padrões serão efetivamente ignorados. Se o intervalo entre os dois elefantes for muito curto (porque todos estão apressados para começar), a equipe de desenvolvimento dos padrões poderá ser esmagada.

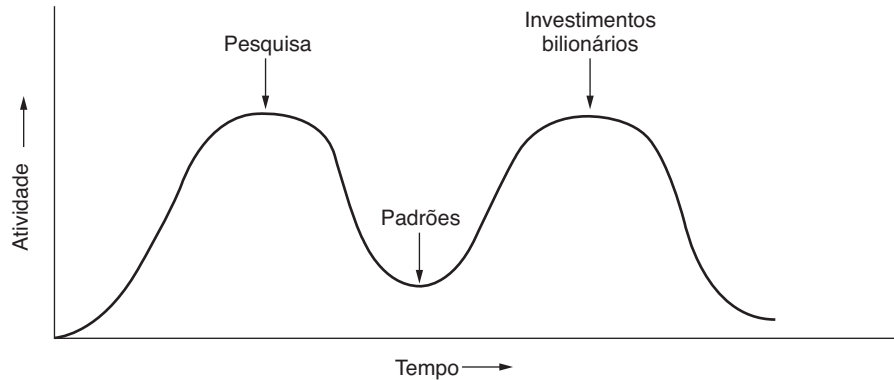


Figura 1.21 | O apocalipse dos dois elefantes.

Hoje se sabe que os protocolos do padrão OSI foram esmagados. Os protocolos TCP/IP concorrentes já estavam sendo amplamente utilizados nas universidades de pesquisa na época em que apareceram os protocolos OSI. Antes mesmo do início da onda de investimentos de bilhões de dólares, o mercado acadêmico já era suficientemente grande, e muitos fabricantes começaram a oferecer produtos TCP/IP, apesar de estarem cautelosos. Quando o OSI surgiu, eles não estavam dispostos a investir em uma segunda pilha de protocolos enquanto não fossem forçados a isso, daí não ter havido ofertas iniciais no mercado. Com todas as empresas aguardando que alguém desse o primeiro passo, nenhuma empresa o iniciou, e o OSI nunca aconteceu.

TECNOLOGIA RUIM

A segunda razão para que o OSI não vingasse estava nas falhas do modelo e dos protocolos. A escolha de sete camadas foi mais política do que técnica, e duas camadas (a de sessão e a de apresentação) estão praticamente vazias, enquanto duas outras (a de enlace de dados e a de rede) se encontram sobrecarregadas.

O modelo OSI, com os protocolos e as definições de serviços inter-relacionados, é extraordinariamente complexo. Quando empilhados, os padrões impressos chegam a quase um metro de altura. Além disso, eles são de difícil implementação e sua operação não é nada eficiente. Nesse contexto, vale a pena lembrar o enigma proposto por Paul Mockapetris e citado em Rose (1993):

P: O que você vê quando encontra um mafioso que adota um padrão internacional?

R: Alguém que lhe faz uma oferta que você não consegue entender.

Além de ser incompreensível, outro problema com o OSI é que algumas funções, como endereçamento e controle de fluxo e de erros, aparecem repetidamente em cada camada. Por exemplo, Saltzer et al. (1984) lembraram que, para ser eficaz, o controle de erros deve ser feito na camada

mais alta, de modo que sua repetição em cada uma das camadas inferiores é desnecessária e ineficiente.

IMPLEMENTAÇÕES RUINS

Em virtude da enorme complexidade do modelo e dos protocolos, ninguém ficou surpreso com o fato de as implementações iniciais serem lentas, pesadas e gigantescas. Todas as pessoas que as experimentaram saíram chamuscadas. Não demorou muito para que elas associassem ‘OSI’ a ‘baixa qualidade’. A imagem resistiu inclusive às significativas melhorias a que os produtos foram submetidos com o decorrer do tempo.

Por outro lado, uma das primeiras implementações do TCP/IP fazia parte do UNIX de Berkeley e era muito boa (sem contar que era gratuita). As pessoas começaram a usá-la rapidamente, criando, assim, uma grande comunidade de usuários que, por sua vez, estimulou novas melhorias, que levaram a uma comunidade ainda maior. Nesse caso, a espiral foi claramente ascendente, não descendente.

POLÍTICA RUIM

Em decorrência da implementação inicial, muitas pessoas, em particular no universo acadêmico, pensaram que o TCP/IP era parte do UNIX e, na década de 1980, as universidades tinham verdadeira adoração pelo UNIX.

Por outro lado, o OSI era considerado uma criação dos ministérios de telecomunicações europeus, da Comunidade Europeia e, mais tarde, do governo dos Estados Unidos. Essa crença só era verdadeira em parte, mas a ideia de um punhado de burocratas tentando empurrar um padrão tecnicamente inferior pela garganta dos pobres pesquisadores e programadores que de fato trabalhavam no desenvolvimento de redes de computadores não foi de muita ajuda à causa do OSI. Algumas pessoas viram nesse desenvolvimento a repetição de um episódio da década de 1960, quando a IBM anunciou que a PL/I era a linguagem do futuro; mais tarde, essa afirmação foi desmentida pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, que afirmou que a linguagem do futuro seria a Ada.

1.4.6 UMA CRÍTICA AO MODELO DE REFERÊNCIA TCP/IP

Os protocolos e o modelo TCP/IP também tiveram os seus problemas. Em primeiro lugar, o modelo não diferenciava com a clareza necessária os conceitos de serviço, interface e protocolo. A boa prática da engenharia de software exige uma diferenciação entre especificação e implementação, algo que o OSI faz com muito cuidado, ao contrário do TCP/IP. Consequentemente, o modelo TCP/IP não é o melhor dos guias para a criação de novas redes com base em novas tecnologias.

Em segundo lugar, o modelo TCP/IP não é nada abrangente e não consegue descrever outras pilhas de protocolos que não a pilha TCP/IP. Por exemplo, seria praticamente impossível tentar descrever o Bluetooth usando esse modelo.

Terceiro, a camada host/rede não é realmente uma camada no sentido em que o termo é usado no contexto dos protocolos hierarquizados. Trata-se, na verdade, de uma interface (entre as camadas de rede e de enlace de dados). A distinção entre uma interface e uma camada é crucial e você deve considerá-la com cuidado.

Em quarto lugar, o modelo TCP/IP não faz distinção entre as camadas física e de enlace de dados. Elas são completamente diferentes. A camada física está relacionada às características de transmissão de fio de cobre, dos cabos de fibra óptica e da comunicação sem fio. A tarefa da camada de enlace de dados é delimitar o início e o final dos quadros e enviá-los de um lado a outro com o grau de confiabilidade desejado. Um modelo mais adequado deve incluir as duas camadas como elementos distintos. O modelo TCP/IP não faz isso.

Por fim, apesar de os protocolos IP e TCP terem sido cuidadosamente projetados e bem implementados, o mesmo não aconteceu com muitos outros protocolos ocasionais, geralmente produzidos por alguns alunos formados, pesquisando até se cansarem. As implementações desses protocolos eram distribuídas gratuitamente, o que acabava difundindo seu uso de tal forma que se tornou difícil substituí-las. Hoje em dia, a fidelidade a esses produtos é motivo de alguns embaraços. Por exemplo, o protocolo de terminal virtual, o TELNET, foi projetado para um terminal TTY mecânico, capaz de processar dez caracteres por segundo. Ele não reconhece o mouse e as interfaces gráficas do usuário. No entanto, esse protocolo é usado em larga escala ainda hoje, trinta anos depois de seu surgimento.

1.5 EXEMPLOS DE REDES

O assunto de redes de computadores abrange muitos tipos diferentes de redes, grandes e pequenas, bem conhecidas e pouco conhecidas. Elas têm diferentes objetivos, escalas e tecnologias. Nas seções a seguir, examinaremos

alguns exemplos, para termos uma ideia da variedade existente na área de redes de computadores.

Começaremos com a Internet, provavelmente a rede mais conhecida, e estudaremos sua história, sua evolução e sua tecnologia. Em seguida, consideraremos a rede de telefonia móvel. Tecnicamente, ela é muito diferente da Internet, havendo um bom contraste entre ambas. Depois, veremos o IEEE 802.11, o padrão dominante para LANs sem fios. Finalmente, examinaremos a RFID e redes de sensores, tecnologias que estendem o alcance da rede para incluir o mundo físico e objetos cotidianos.

1.5.1 A INTERNET

A Internet não é de modo algum uma rede, mas sim um vasto conjunto de redes diferentes que utilizam certos protocolos comuns e fornecem determinados serviços comuns. É um sistema incomum no sentido de não ter sido planejado nem ser controlado por ninguém. Para entendê-la melhor, vamos começar do início e observar como e por que ela foi desenvolvida. Se desejar conhecer uma história maravilhosa sobre o surgimento da Internet, recomendamos o livro de John Naughton (2000). Trata-se de um daqueles raros livros que não apenas são divertidos de ler, mas que também têm 20 páginas de citações destinadas aos historiadores sérios. Uma parte do material a seguir se baseia nesse livro.

É claro que também foram escritos inúmeros livros técnicos sobre a Internet e seus protocolos. Para obter mais informações consulte, por exemplo, Maufer (1999).

A ARPANET

A história começa no final da década de 1950. No auge da Guerra Fria, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos queria uma rede de controle e comando capaz de sobreviver a uma guerra nuclear. Nessa época, todas as comunicações militares passavam pela rede de telefonia pública, considerada vulnerável. A razão para essa convicção pode ser vista na Figura 1.22(a). Nessa figura, os pontos pretos representam centrais de comutação telefônica, cada uma das quais conectada a milhares de telefones. Por sua vez, essas centrais de comutação estavam conectadas a centrais de comutação de nível mais alto (centrais interurbanas), formando uma hierarquia nacional com apenas uma pequena redundância. A vulnerabilidade do sistema era o fato de que a destruição de algumas centrais interurbanas importantes poderia fragmentar o sistema em muitas ilhas isoladas.

Por volta de 1960, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos firmou um contrato com a RAND Corporation para encontrar uma solução. Um de seus funcionários, Paul Baran, apresentou o projeto altamente distribuído e tolerante a falhas da Figura 1.22(b). Tendo em vista que os caminhos entre duas centrais de comutação quaisquer